

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

Japanese Patent Laid-open Publication No. HEI 11-201647 A

Publication date : July 30, 1999

Applicant : FUJITSU LIMITED

Title : HEATING CONDITION SETTING APPARATUS FOR HEATING FURNACE  
5 AND APPARATUS FOR THERMALLY ANALYZING MATERIAL TO BE HEATED  
INSIDE HEATING FURNACE

(57) [Abstract]

[Problem]

10 The present invention relates to a heating condition  
setting method and apparatus for a heating furnace, in which  
a material to be heated as an object is optimally heated by  
performing the measurement of the temperature distribution  
of the material to be heated or the thermal analysis of the  
15 material to be heated the fewest necessary number of times.

[Solving Means]

Respective heating conditions are set with respect to  
a plurality of heating sources in heating a material to be  
heated inside a heating furnace by using the plurality of heating  
20 sources so as to heat the material to be heated, and then,  
the temperature of the material to be heated is detected at  
a plurality of detection points. The relationship between a  
variation in the heating condition in one of the plurality  
of heating sources and a variation in the temperature detected  
25 at each of the detection points of the material to be heated

is computed with respect to each of the plurality of heating sources. The heating condition in each of the heating sources in such a manner that the temperature at each of the detection points of the material to be heated becomes a target value  
5 is computed based on the computed relationship. The plurality of heating sources are controlled under the computed heating condition.

[Scope of Claims for a Patent]

10 [Claim 1]

A heating condition setting method for a heating furnace comprising the steps of:

setting respective heating conditions with respect to a plurality of heating sources in heating a material to be  
15 heated inside the heating furnace by using the plurality of heating sources so as to heat the material to be heated, and then, detecting the temperature of the material to be heated at a plurality of detection points;

computing, with respect to each of the plurality of  
20 heating sources, the relationship between a variation in the heating condition in one of the plurality of heating sources and a variation in the temperature detected at each of the detection points of the material to be heated;

computing the heating condition in each of the heating  
25 sources in such a manner that the temperature at each of the

detection points of the material to be heated becomes a target value based on the computed relationship; and

controlling the plurality of heating sources under the computed heating condition.

5

[Claim 3]

A heating condition setting apparatus for a heating furnace comprising:

setting means for setting respective heating conditions  
10 with respect to a plurality of heating sources in heating a material to be heated inside the heating furnace by using the plurality of heating sources;

detecting means for detecting the temperature of the material to be heated at a plurality of detection points after  
15 the material to be heated is heated;

computing means for computing, with respect to each of the plurality of heating sources, the relationship between a variation in the heating condition in one of the plurality of heating sources and a variation in the temperature detected  
20 at each of the detection points of the material to be heated;

computing means for computing the heating condition in each of the heating sources in such a manner that the temperature at each of the detection points of the material to be heated becomes a target value based on the computed relationship;  
25 and

controlling means for controlling the plurality of heating sources under the computed heating condition.

[Claim 4]

A computer-readable recording medium storing therein  
5 a heating condition setting program for a heating furnace so as to allow a computer to execute the procedures, the procedures including:

a procedure for setting respective heating conditions with respect to a plurality of heating sources in heating the  
10 material to be heated inside the heating furnace by using the plurality of heating sources;

a procedure for detecting the temperature of the material to be heated at a plurality of detection points after the material to be heated is heated;

15 a procedure for computing, with respect to each of the plurality of heating sources, the relationship between a variation in the heating condition in one of the plurality of heating sources and a variation in the temperature detected at each of the detection points of the material to be heated;

20 a procedure for computing the heating condition in each of the heating sources in such a manner that the temperature at each of the detection points of the material to be heated becomes a target value based on the computed relationship; and

25 a procedure for controlling the plurality of heating

sources under the computed heating condition.

[Claim 5]

An apparatus for thermally analyzing a material to be heated inside a heating furnace, comprising:

5 means for inputting data on a material to be heated, the means inputting the shape and physical values of the material to be heated which moves at a predetermined speed inside the heating furnace;

calculation grid generating means for dividing the  
10 material to be heated in a grid fashion so as to generate calculation grids and defining a physical value for each of calculation elements divided into the calculation grids;

heating condition inputting means for inputting the heating condition inside the heating furnace;

15 setting means for setting the radiation boundary condition and heat transmission boundary condition of the material to be heated, which are varied as a time elapses on the basis of the input heating condition;

calculating means for calculating the temperature  
20 distribution of each of the calculation elements per movement of the material to be heated within a predetermined range on the basis of the radiation boundary condition and heat transmission boundary condition set by the setting means for each of the calculation elements generated by the calculation  
25 grid generating means and thermal conduction inside the

material to be heated; and

outputting means for outputting the temperature distribution calculated by the calculating means.

5 [Claim 9]

A control apparatus for a reflowing furnace provided with a thermal analyzer for performing a thermal analysis of a printed wiring board, which moves inside the reflowing furnace, and a heating condition setter for setting the heating condition  
10 of the reflowing furnace on the basis of the result of the thermal analysis obtained by the thermal analyzer,

the thermal analyzer comprising:

shape and physical value inputting means for inputting the shape and physical value of the printed wiring board to  
15 be heated inside the reflowing furnace, the shape and physical value of a part mounted on the printed wiring board, the shape of a gap space defined between the part and the printed wiring board, the shape of a terminal space including a terminal for connecting the part and the printed wiring board to each other  
20 and the physical value of the terminal;

part and gap space model setting means for setting a model in which the input part and the input gap space are regarded as a rectangle having substantially the same thickness as that of the printed wiring board;

25 terminal model setting means for setting a model in which

the input terminal space is regarded as a rectangle having a thickness according to the size of the terminal;

correcting means for correcting the physical values with respect to the rectangular model of the part, the rectangular  
5 model of the gap space and the rectangular model of the terminal gap, which are obtained as described above;

calculation grid generating means for dividing the rectangular model in a grid fashion so as to generate calculation grids and defining a physical value for each of calculation  
10 elements divided into the calculation grids;

heating condition inputting means for inputting the heating condition inside the heating furnace;

setting means for setting the radiation boundary condition and heat transmission boundary condition of the  
15 material to be heated, which are varied as a time elapses on the basis of the input heating condition;

calculating means for calculating the temperature distribution of each of the calculation elements per movement of the material to be heated within a predetermined range on  
20 the basis of the radiation boundary condition and heat transmission boundary condition set by the setting means for each of the calculation elements generated by the calculation grid generating means and thermal conduction inside the material to be heated; and

25 outputting means for outputting the temperature



distribution calculated by the calculating means; and

the heating condition setter comprising:

heating condition setting means for setting respective  
heating conditions with respect to a plurality of heating  
5 sources in heating a material to be heated inside the heating  
furnace by using the plurality of heating sources;

temperature detecting means for receiving, from the  
thermal analyzer, the temperature of a rectangular model at  
a plurality of detection points after the rectangular model  
10 is heated;

computing means for computing, with respect to each of  
the plurality of heating sources, the relationship between  
a variation in the heating condition in one of the plurality  
of heating sources and a variation in the temperature of each  
15 of the calculation elements of the rectangular model;

heating condition computing means for computing the  
heating condition in each of the heating sources in such a  
manner that the temperature of each of the calculation elements  
of the rectangular model becomes a target value based on the  
20 computed relationship; and

controlling the plurality of heating sources under the  
computed heating condition.

[0031]

25 Consequently, in order to solve the above-described

problems, it is very important to develop an analysis model  
simplifying method with high analyzing accuracy, which can  
be applied to a non-stationary thermal conduction analysis  
for a long period of time (for example, a thermal analysis  
5 of a printed wiring board which moves inside a reflowing  
furnace).

[0042]

In this manner, since the relationship between a  
10 variation in the heating condition of each of the heating sources  
and a variation in the temperature of each of the detection  
points of the material to be heated is first grasped, it is  
possible to uniquely set the heating condition of each of the  
heating sources so as to set each of the detection points of  
15 the material to be heated to a target temperature.

[0048]

Although it is necessary to detect the temperature of  
the material to be heated at the plurality of detection points,  
20 it is preferable that the number of detection points should  
accord with the number of heating sources in order to solve  
multiple simultaneous equations. The temperatures at the  
detection points of the material to be heated may be detected  
by actual measurement in a method for fixing a temperature  
25 sensor such as a thermocouple to the material to be heated

or may be obtained by calculation through a thermal analysis. In the latter case, a thermally analyzing method disclosed in, for example, Japanese Patent Application No. 8-152377 filed on June 13, 1996 by the present applicant can be used.

5

[0082]

As described above, a lead section in a large-sized electronic part is hardly heated, thereby causing insufficient soldering; in contrast, a small-sized electronic part is liable to be easily heated, and therefore, suffers a thermal damage. Consequently, numbers are assigned to points at the electronic part in order of importance. Numbers 1 to J are assigned to temperature detection points in order of importance. Here, in the case where there are I heating sources,  $J = I$ . Each of the temperature detection points having these numbers attached thereto is designated by reference character j.

15

[0086]

In step S5, only a setting value of one heating source i is varied out of the basic reflowing condition setting. This condition is referred to as a condition i. The setting value is varied in such a manner that the temperature of a printed wiring board 2 approaches a target value as possible. A setting value of the heating source i in the reflowing condition i is referred to as  $T_{ii}$ .

25

[0090]

In step S10, simultaneous equations below are established with respect to a temperature difference  $\Delta t_{tj}$  between a target temperature  $tt_j$  at each of the temperature detection points  $j$  and a temperature  $t_{j0}$  in a reflowing condition 0 based on a deviation  $\Delta t_{Ti}$  between a setting value  $t_{Ti}$  of each of the heating sources 1 to I for setting the temperatures of the temperature detection points  $j$  to a target value and a setting value  $T_{i0}$  in the reflowing condition 0 and a coefficient  $a_{ij}$  determined in step S7.

[0095]

Since the relationship between the setting variation of each of the heating sources and the temperature variation at each of the temperature detection points is grasped in this manner, it is possible to uniquely determine setting of each of the heating sources so as to set each of the temperature detection points to a target value. Moreover, it is possible to suppress a thermal damage on a small-sized electronic part mounted on the printed wiring board to the minimum, and further, to set an optimum heating condition to minimize a difference in temperature inside the printed wiring board in such a manner as not to degrade a soldering property with respect to a large-sized electronic part.

[0133]

Fig. 13 is a diagram illustrating the case where calculation grids are formed for a differential analysis with respect to an analysis model illustrated in Fig. 12. In order to reduce calculation elements in calculating a difference as possible and increase the size of the calculation element, the number of divisions in a direction of the thickness of the printed wiring board in the case where parts are mounted at only either surface is assumed to be three layers (that is, two layers of parts and one layer of a board). As illustrated in Fig. 13, in order that the printed wiring board is divided into three in the direction of the thickness, each of analysis models of all parts is divided into two layers in the direction of the thickness irrespective of the type, shape, size (height) or the like of the part, wherein both of the upper and lower layers are uniformly set to 1 mm in thickness in view of the analysis.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-201647

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月30日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

F 2 7 B 9/40

F 2 7 B 9/40

B 2 3 K 1/00

B 2 3 K 1/00

A

1/008

1/008

C

3/04

3/04

Y

31/02

3 1 0

31/02

3 1 0 F

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 19 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-119423

(22) 出願日 平成10年(1998) 4月28日

(31) 優先権主張番号 特願平9-194177

(32) 優先日 平 9 (1997) 7月18日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-313681

(32) 優先日 平 9 (1997) 11月14日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005223  
富士通株式会社  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 内田 浩基  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 作山 誠樹  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 野河 信太郎

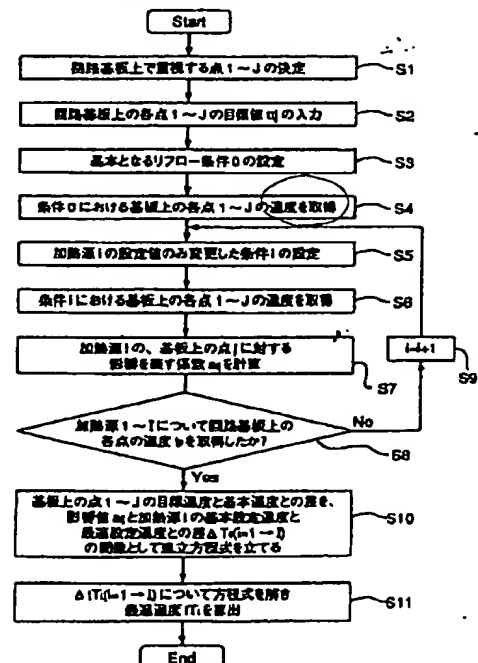
(54) 【発明の名称】 加熱炉の加熱条件設定装置および加熱炉内の被加熱物の熱解析装置

(57) 【要約】 -

【課題】 加熱炉の加熱条件設定方法および装置に関し、必要最小限の回数の被加熱物の温度分布の測定、または被加熱物の熱解析を行うことにより、対象となる被加熱物を最適に加熱する。

【解決手段】 加熱炉内で被加熱物を複数の加熱源を用いて加熱するに際し、複数の加熱源に対してそれぞれ加熱条件を設定して被加熱物を加熱した後、被加熱物の温度を複数の検出点で検出し、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と被加熱物の各検出点における検出温度の変化量との関係を各加熱源について算定し、その算定した関係に基づいて被加熱物の各検出点の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出し、その算出した加熱条件により複数の加熱源を制御する。

CPUの処理動作の内容を示すフローチャート



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 加熱炉内で被加熱物を複数の加熱源を用いて加熱するに際し、複数の加熱源に対してそれぞれ加熱条件を設定して被加熱物を加熱した後、被加熱物の温度を複数の検出点で検出し、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と被加熱物の各検出点における検出温度の変化量との関係を各加熱源について算定し、その算定した関係に基づいて被加熱物の各検出点の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出し、その算出した加熱条件により複数の加熱源を制御することからなる加熱炉の加熱条件設定方法。

【請求項2】 加熱炉がリフロー炉からなり、被加熱物が電子部品を装着したプリント配線板からなり、複数の加熱源が熱風送風型と熱放射型のタイプの異なる2つ以上の電気加熱源からなり、これらタイプの異なる2つ以上の電気加熱源を同時に用いてプリント配線板を加熱する請求項1記載の加熱炉の加熱条件設定方法。

【請求項3】 加熱炉内で被加熱物を複数の加熱源を用いて加熱するに際し、複数の加熱源に対してそれぞれ加熱条件を設定する設定手段と、被加熱物が加熱された後の被加熱物の温度を複数の検出点で検出する検出手段と、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と被加熱物の各検出点における検出温度の変化量との関係を各加熱源について算定する算定手段と、その算定した関係に基づいて被加熱物の各検出点の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出する算出手段と、その算出した加熱条件により複数の加熱源を制御する制御手段とを備えてなる加熱炉の加熱条件設定装置。

【請求項4】 加熱炉内で被加熱物を複数の加熱源を用いて加熱するに際し、複数の加熱源に対してそれぞれ加熱条件を設定させる手順と、被加熱物が加熱された後被加熱物の温度を複数の検出点で検出させる手順と、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と被加熱物の各検出点における検出温度の変化量との関係を各加熱源について算定させる手順と、その算定した関係に基づいて被加熱物の各検出点の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出させる手順と、その算出した加熱条件により複数の加熱源を制御させる手順とをコンピュータに実行させる加熱炉の加熱条件設定プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項5】 加熱炉内を所定の速度で移動する被加熱物の形状と物性値を入力する被加熱物データ入力手段と、被加熱物を格子状に分割して計算格子を作成するとともに、その計算格子で分割された各計算要素毎に物性値を定義する計算格子生成手段と、加熱炉内の加熱条件を入力する加熱条件入力手段と、入力された加熱条件から時間の経過に伴って変化する被加熱物の輻射境界条件

と熱伝達境界条件とを設定する設定手段と、計算格子生成手段によって作成された各計算要素毎の、設定手段によって設定された輻射境界条件と熱伝達境界条件とさらに被加熱物内における熱伝導に基づいて、各計算要素毎の温度分布を被加熱物の所定範囲の移動毎に算出する算出手段と、算出手段によって算出された温度分布を出力する出力手段とを備えてなる加熱炉内の被加熱物の熱解析装置。

【請求項6】 加熱炉内を所定の速度で移動する被加熱物の形状と物性値を入力させる手順と、被加熱物を格子状に分割して計算格子を作成させるとともに、その計算格子で分割された各計算要素毎に物性値を定義させる手順と、加熱炉内の加熱条件を入力させる手順と、入力された加熱条件から時間の経過に伴って変化する被加熱物の輻射境界条件と熱伝達境界条件とを設定させる手順と、作成された各計算要素毎に、設定された輻射境界条件と熱伝達境界条件とさらに被加熱物内における熱伝導に基づいて、各計算要素毎の温度分布を被加熱物の所定範囲の移動毎に算出させる手順と、算出された温度分布を出力させる手順とをコンピュータに実行させる加熱炉内の被加熱物の熱解析プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項7】 被加熱物データ入力手段が、プリント配線板の形状及びその物性値、プリント配線板に装着された部品の形状及びその物性値、部品とプリント配線板との間のギャップ空間の形状、並びに部品とプリント配線板とを接続する端子を含む端子空間の形状及びその端子の物性値を入力する形状及び物性値入力手段からなり、計算格子生成手段が、形状及び物性値入力手段から入力された部品及びギャップ空間をプリント配線板の厚みとほぼ等しい厚みの直方体とみなしたモデルを設定する部品及びギャップ空間モデル設定手段と、入力された端子空間を端子の大きさに応じた厚みの直方体とみなしたモデルを設定する端子モデル設定手段と、このようにして得られた部品の直方体モデルとギャップ空間の直方体モデルと端子空間の直方体モデルに対して物性値の補正を行う補正手段をさらに備えてなる請求項5記載の加熱炉内の被加熱物の熱解析装置。

【請求項8】 被加熱物の形状と物性値を入力させる手順が、プリント配線板の形状及びその物性値、プリント配線板に装着された部品の形状及びその物性値、部品とプリント配線板との間のギャップ空間の形状、並びに部品とプリント配線板とを接続する端子を含む端子空間の形状及びその端子の物性値を入力させる手順からなり、計算格子を作成させて各計算要素毎に物性値を定義させる手順が、入力された部品及びギャップ空間をプリント配線板の厚みとほぼ等しい厚みの直方体とみなしたモデルを設定させる手順と、入力された端子空間を端子の大きさに応じた厚みの直方体とみなしたモデルを設定させる手順と、このようにして得られた部品の直方体モデル

とギャップ空間の直方体モデルと端子空間の直方体モデルに対して物性値の補正を行わせる手順をさらに備えてなる請求項6記載の加熱炉内の被加熱物の熱解析プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項9】 リフロー炉内を移動するプリント配線板の熱解析を行う熱解析装置と、その熱解析装置によって得られた熱解析の結果に基づいてリフロー炉の加熱条件を設定する加熱条件設定装置とを備えたリフロー炉の制御装置であって、  
熱解析装置が、リフロー炉内で加熱されるプリント配線板の形状及びその物性値、プリント配線板に装着された部品の形状及びその物性値、部品とプリント配線板との間のギャップ空間の形状、並びに部品とプリント配線板とを接続する端子を含む端子空間の形状及びその端子の物性値を入力する形状及び物性値入力手段と、入力された部品及びギャップ空間をプリント配線板の厚みとほぼ等しい厚みの直方体とみなしたモデルを設定する部品及びギャップ空間モデル設定手段と、入力された端子空間を端子の大きさに応じた厚みの直方体とみなしたモデルを設定する端子モデル設定手段と、このようにして得られた部品の直方体モデルとギャップ空間の直方体モデルと端子空間の直方体モデルに対して物性値の補正を行う補正手段と、直方体モデルを格子状に分割して計算格子を作成するとともに、その計算格子で分割された各計算要素毎に物性値を定義する計算格子生成手段と、加熱炉内の加熱条件を入力する加熱条件入力手段と、入力された加熱条件から時間の経過に伴って変化する被加熱物の輻射境界条件と熱伝達境界条件とを設定する設定手段と、計算格子生成手段によって作成された各計算要素毎の、設定手段によって設定された輻射境界条件と熱伝達境界条件とさらに被加熱物内における熱伝導に基づいて、各計算要素毎の温度分布を被加熱物の所定範囲の移動毎に算出する算出手段と、算出手段によって算出された温度分布を出力する出力手段とからなり、加熱条件設定装置が、加熱炉内で被加熱物を複数の加熱源を用いて加熱するに際し、複数の加熱源に対してそれぞれ加熱条件を設定する加熱条件設定手段と、直方体モデルが加熱された後の直方体モデルの各計算要素毎の温度分布を熱解析装置から受け取る温度検出手段と、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と直方体モデルの各計算要素における温度の変化量との関係を各加熱源について算定する算定手段と、その算定した関係に基づいて直方体モデルの各計算要素の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出する加熱条件算出手段と、その算出した加熱条件により複数の加熱源を制御する制御手段とからなるリフロー炉の制御装置。

【請求項10】 リフロー炉内を移動するプリント配線板の熱解析を行わせる熱解析手順と、その熱解析手順によって得られた熱解析の結果に基づいてリフロー炉の加

熱条件を設定させる加熱条件設定手順とをコンピュータに実行させるリフロー炉の制御プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

熱解析手順が、リフロー炉内で加熱されるプリント配線板の形状及びその物性値、プリント配線板に装着された部品の形状及びその物性値、部品とプリント配線板との間のギャップ空間の形状、並びに部品とプリント配線板とを接続する端子を含む端子空間の形状及びその端子の物性値を入力させる手順と、入力された部品及びギャップ空間をプリント配線板の厚みとほぼ等しい厚みの直方体とみなしたモデルを設定させる手順と、入力された端子空間を端子の大きさに応じた厚みの直方体とみなしたモデルを設定させる手順と、このようにして得られた部品の直方体モデルとギャップ空間の直方体モデルと端子空間の直方体モデルに対して物性値の補正を行わせる手順と、直方体モデルを格子状に分割して計算格子を作成させるとともに、その計算格子で分割された各計算要素毎に物性値を定義させる手順と、加熱炉内の加熱条件を入力させる手順と、入力された加熱条件から時間の経過に伴って変化する被加熱物の輻射境界条件と熱伝達境界条件とを設定させる手順と、作成された各計算要素毎の、設定された輻射境界条件と熱伝達境界条件とさらに被加熱物内における熱伝導に基づいて、各計算要素毎の温度分布を被加熱物の所定範囲の移動毎に算出させる手順と、算出された温度分布を出力させる手順とからなり、

加熱条件設定手順が、加熱炉内で被加熱物を複数の加熱源を用いて加熱するに際し、複数の加熱源に対してそれぞれ加熱条件を設定させる手順と、直方体モデルが加熱された後の直方体モデルの各計算要素毎の温度分布を熱解析装置から受け取らせる手順と、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と直方体モデルの各計算要素における温度の変化量との関係を各加熱源について算定させる手順と、その算定した関係に基づいて直方体モデルの各計算要素の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出させる手順と、その算出した加熱条件により複数の加熱源を制御させる手順とからなるリフロー炉の制御プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、加熱炉の加熱条件設定装置および加熱炉内の被加熱物の熱解析装置に関する。さらに詳しくは、はんだ付けのためにプリント配線板を加熱するリフロー炉の制御に好適に用いられるものであり、例えばリフロー炉内でプリント配線板を加熱する際に好適に用いられる加熱条件設定装置、およびその加熱条件設定の際に好適に用いられるプリント配線板の熱解析装置に関する。

【0002】



【従来の技術および発明が解決しようとする課題】電子部品が装着されたプリント配線板（回路基板、プリント板、またはプリント基板等とも呼ばれる）は、通常、プリント配線板にクリーム状のはんだ材料（はんだペースト）を印刷し、この上に電子部品を載置し、リフロー炉（リフローはんだ付け装置、または単にリフロー装置ともいう）に入れることによってリフローはんだ付けを行うといった工程で製造される。

【0003】この工程では、プリント配線板は、トンネル状の炉内に設けられたコンベア上に置かれて搬送され、この搬送過程で炉内に配置された加熱源により加熱され、プリント配線板の温度上昇に伴ってはんだペーストが溶融し、炉外に搬送され室温にさらされることで冷却されてはんだが固まり、はんだ付けが完了する。

【0004】このリフローはんだ付け工程では、はんだが溶融する温度である200℃以上にプリント配線板を加熱するのであるが、その際、温度プロファイルが図5のグラフに示す曲線となるように加熱制御が行われる。すなわち、急激な加熱による熱ダメージを少なくするために、温度を単純に上昇させるのではなく、予備加熱をした後、プリント配線板の温度を一定に保持する均一加熱を行い、その後はんだの溶融温度である200℃以上に加熱する、という3段階の加熱制御が行われる。

【0005】ところが、一般にプリント配線板には熱容量の異なる複数の部品が搭載されており、プリント配線板に温度の高いところと低いところが生ずるため、はんだが溶融するだけ十分にプリント配線板を加熱し、なおかつ小型の部品が高温になりすぎない様な加熱条件を設定することは非常に難しい。このため、リフロー炉内には性質の異なる加熱源を複数配置し、プリント配線板の位置によって加熱源の影響の大きさが異なるようにすることも行われている。すなわち、コンベアの上下に異なる温度に保たれた複数の近赤外線ヒータや遠赤外線ヒータ、あるいは熱風ファンヒータなどを配置し、加熱ゾーンを複数に分けた構成となっており、各加熱ゾーンにおける加熱源の加熱条件をそれぞれ適切に設定して、プリント配線板の温度差をできるだけ小さくし、プリント配線板の温度分布が均一になるようにプリント配線板を加熱するようにしている。

【0006】そのため、従来では、プリント配線板に熱電対などの温度センサを取り付けてプリント配線板の温度上昇を実測し、目標の温度プロファイルが得られるまで繰り返し温度設定を変更するようにしていた。

【0007】しかしながら、この温度設定の変更作業は作業者の勘や推量により行うため、最適な加熱条件に設定できる保証がない。また、加熱条件の設定とプリント配線板の温度測定を何度も繰り返して行うことで最適条件を見つけ出そうとするため、最適加熱条件の設定に多くの時間を必要とし、また作業者の熟練、経験を必要とする。

【0008】ところで、このリフロー炉での加熱条件が適切でなく、例えば、プリント配線板を加熱しすぎた場合には、熱容量の小さい小型のチップ部品やプリント配線板に熱ストレスがかかりやすく、逆に加熱不足の場合には、熱容量の大きな大型部品のはんだ接合部が未溶融となるなどの問題が生ずる。

【0009】このため、新規に製造を開始するプリント配線板に対しては、部品やプリント配線板への熱ストレスをできるだけ少なく、かつはんだ接合部を十分に加熱できる最適なリフロー炉の加熱条件を見つけ出す必要があり、プリント配線板上の各はんだ接合部に対して詳細な温度プロファイルの調査が必要となる。

【0010】この調査は、プリント配線板の温度プロファイルの取得（熱電対による実測）とヒータ温度などの加熱条件の再設定を数回繰り返して行う。このため、熱電対の取り付け作業や複数回の温度プロファイルの測定などに多くの工数がかかり、また加熱条件を変更するたびにヒータ温度の安定に時間がかかる等、相当な工数と時間が必要である。更に温度プロファイルの測定結果から最適な加熱条件を予測するためには、作業者の経験やノウハウの蓄積が重要となる。

【0011】そこで計算機を用いた熱解析を行い、プリント配線板の信頼性向上のためリフロー炉内の加熱状態を定量的に把握したり、リフロー炉内の被加熱物の温度プロファイルをあらかじめ予測し、リフロー炉の最適な操作条件の設定に利用することが検討されるようになってきた。

【0012】図10に従来技術を用いてリフロー炉内のプリント配線板の熱解析を行った場合の処理のフローチャートを示す。ステップ501～ステップ507の工程で、プリント配線板の熱解析を行うため、まずプリント配線板の解析モデルを作成する。プリント配線板上にはQFP（Quad Flat Package）やSOP（Small Outline Package）、BGA（Ball Grid Array）などと呼ばれる微細で複雑な形状のリードフレーム等、数百個以上の接合端子を持つ電子部品が搭載されている。

【0013】一般的にこの様な電子部品の解析モデルは、計算時間を短縮したり解析モデルの作成時の工数を軽減するために、ステップ501の工程で解析モデルの簡略化方法を検討する。この解析モデルの簡略化には、計算精度を落とさず簡略化を行う必要があり、専門的な知識と経験を要する。

【0014】次に、簡略化方法の検討（ステップ501）の結果から、ステップ502の工程で、部品の解析モデルを作成する。作成した部品の解析モデルには、ステップ503の工程で物性値を定義する。

【0015】一般的にプリント配線板は、電子部品を複数個搭載しているため、部品の解析モデルの簡略化作業（ステップ501）や形状作成作業（ステップ502）

は、一つ一つの部品について行う（ステップ504）。

【0016】解析モデルの作成作業の最後に電子部品を搭載するプリント配線板の形状を作成し、物性を定義し（ステップ505～ステップ506）、最終的なプリント配線板の解析モデルを作成する。

【0017】プリント配線板のサイズが大きく、多数の電子部品を搭載している場合、これらの解析モデルの作成作業は多くの工数を必要とする。またプリント配線板の設計に解析を利用する場合は、部品のレイアウトが変更となるたびに、この様な膨大な工数を要する作業を繰り返す行わなければならない。また製造現場などでリフロー炉の作業条件を設定するために解析を行う場合は、できるだけ短時間に複数のプリント配線板の形状モデルを作成して解析する必要がある。

【0018】次のステップ507の工程では、解析モデルに手動または自動で計算格子を作成する。つまり解析モデルを適正な位置で格子状に分割する。

【0019】ところで、前述したように、プリント配線板への電子部品のはんだ付けは、生産性に優れる等の理由から赤外線ヒータを用いたリフロー炉が多用されている。そして、このリフロー炉には、異なる温度に設定された赤外線ヒータが炉内の上下面に複数並べられており、この間をプリント配線板がコンベアにより一定の速度で搬送されて加熱される。

【0020】したがって、リフロー炉内のプリント配線板の熱解析を行うためには、ステップ508の工程で赤外線ヒータからプリント配線板が受ける輻射熱量を正確に計算する必要がある。以下にステップ508の工程を説明する。

【0021】プリント配線板が受ける正味の輻射熱量の計算は、プリント配線板が受ける輻射熱量と放射する輻射熱量の収支から計算する。プリント配線板が受ける熱量は、炉内に並んだ各ヒータの表面温度およびヒータ表面の放射率から計算した各ヒータの輻射熱量と、各ヒータからの輻射熱量がプリント配線板に届く割合（形態計数）との積から求められる。

【0022】また、プリント配線板が受ける熱量として、炉内壁面からプリント配線板への輻射や、周囲壁面で反射してプリント配線板に届くヒータからの輻射なども考えられるため、これらの熱量も計算する。プリント配線板が受ける正味の輻射熱量は、上記のプリント配線板が受ける輻射熱量とプリント配線板が外部に向かって放射する輻射熱量との差である。

【0023】また、プリント配線板は炉内の雰囲気からも熱伝達による熱量を受けて加熱されるので、ステップ509の工程でこれも計算する。これらの熱量の総和を境界条件として、ステップ510においてプリント配線板の解析モデルに設定する。

【0024】次に、境界条件を設定したプリント配線板の解析をステップ511の工程で実行する。この解析は有限要素法や差分法などによる。ただし、前述したよう

にプリント配線板は加熱炉内をコンベアによって搬送され、各ヒータとプリント配線板の相対的な位置関係は時間とともに変化する。このため、プリント配線板が受ける輻射熱量、すなわち輻射境界条件は一定ではなく、時間とともに変化するため、ある時間毎に輻射境界条件を計算し直す必要がある。また、熱伝達による加熱状態も雰囲気温度や熱伝達計数が炉内の位置によって異なるため、ある時間毎に熱伝達境界条件も計算し直す必要がある。このため、ステップ512の工程で炉の出口まで解析したのか否かの判定を行い、炉の出口に至っていない場合は、ステップ508～ステップ511の工程を繰り返し行う。

【0025】従来の熱解析ソフトでは、このような時間的に変化する境界条件を計算し、熱解析対象に自動的に設定することは行われていなかったため、これらの作業はすべて手作業で行う必要があった。

【0026】以上で解析は一通り終了するが、ステップ501の工程における部品の解析モデルの簡略化方法によっては解析精度が低い場合があるため、ステップ514の工程で簡略化方法を見直して、再度はじめてから解析を行う必要がある場合もある。

【0027】以上の様に、従来では、多大な工数を使って作成したプリント配線板の解析モデルを、前述したように炉内の各位置における輻射境界条件や熱伝達境界条件を繰り返し計算して解析モデルに設定し、プリント配線板がリフロー炉に入ってから出るまでの熱解析を行っていた。

【0028】このように、従来の熱解析手法では、以下のような問題のため、リフロー炉内のプリント配線板の熱解析を簡単に行うことができなかった。

【0029】①熱解析対象（プリント配線板）は加熱炉内をコンベアにより搬送され、時間によって輻射や熱伝達の境界条件が変化するため、熱解析対象に輻射境界条件や熱伝達境界条件を一定時間毎に計算・設定する必要がある。

【0030】②プリント配線板の解析モデルの形状作成は煩雑で多大な工数を要し、またプリント配線板に搭載されている電子部品の解析モデルの簡略化は専門的な知識や経験を必要とする。

【0031】したがって、このような点を解決するためには、長時間の非定常熱伝導解析（例えば、リフロー炉内を移動するプリント配線板の熱解析）に適用可能な解析精度の高い解析モデルの簡略化方法の開発が重要な課題となる。

【0032】図17に実際のプリント配線板を側面からみた状態を示す。基板601上には様々な部品が搭載されており、602はSOP（Small Outline Package）、603はQFP（Quad Flat Package）、604はPGA（Pin Grid Array）である。また各部品は、リード605や接続端子のピン606を介して、基板と電気

的、および機械的に接続されている。

【0033】プリント配線板を差分法などを用いて熱伝導解析を行う場合、プリント配線板の形状をモデル化（簡略化）して、その形状に計算格子を作成する作業が必要となる。図17のような形状のプリント配線板には、一般的に図18の様な計算格子を作成した解析モデルが考えられる。図18は図17と同じくプリント配線板を側面からみた状態を示しており、説明のため、計算格子を2次元的に示すが、実際のプリント配線板の形状は3次元形状であり、これに合わせて計算格子も3次元の計算格子を作成する。

【0034】熱伝導解析などに必要な計算時間は、計算要素数に比例し、計算格子の間隔の二乗に反比例して増大する。このため、図18のごとく計算格子を作成した場合、3次元の計算要素数は膨大になり、また、微細なリード部や、それぞれの高さが異なる部品に合わせて計算格子を作成するため、計算格子の間隔は微細になる。このため、図18の場合、計算時間が膨大になる。

【0035】計算時間を短縮するためには、計算要素を大きくする必要があるが、差分法を用いて複雑な形状のプリント配線板を解析する場合、図18のごとく計算要素数は多く、計算要素の寸法は小さくなるため、従来では短い時間で計算を行うことができなかった。

【0036】この様な計算時間の問題を解決する一方法として、プリント配線板を2次元の解析モデルとして扱って計算時間を短くする方法が、従来より一般に行われている。しかしこの場合、基板に搭載されている電子部品は簡易的にモデル化しているため、基板と電子部品間の熱のやりとりが正確に解析に考慮できず、部品の周辺で誤差が拡大する。

【0037】この発明は、このような事情を考慮してなされたもので、作業者の勘や推量による加熱条件の設定を何度も繰り返すことなく、必要最小限の回数の被加熱物の温度分布の測定、または被加熱物の熱解析を行うことにより、対象となる被加熱物を最適に加熱することができる加熱炉の加熱条件設定装置を提供するものである。

【0038】また、熱解析に多大な工数や特別な専門知識を必要とせず、容易に加熱炉内の被加熱物の熱解析を行うことができ、しかも実際に加熱炉内に被加熱物を入れた場合とほぼ同様の温度分布結果を得ることが可能な熱解析装置を提供するものである。

【0039】さらに、その熱解析に際して、計算要素の数を大幅に削減し、従来の解析モデルを用いるよりも短時間で熱解析を行うことが可能なプリント配線板の熱解析モデルを提供するものである。

【0040】

【課題を解決するための手段】この発明は、加熱炉内で被加熱物を複数の加熱源を用いて加熱するに際し、複数の加熱源に対してそれぞれ加熱条件を設定して被加熱物

を加熱した後、被加熱物の温度を複数の検出点で検出し、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と被加熱物の各検出点における検出温度の変化量との関係を各加熱源について算定し、その算定した関係に基づいて被加熱物の各検出点の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出し、その算出した加熱条件により複数の加熱源を制御することからなる加熱炉の加熱条件設定方法である。

【0041】この発明によれば、まず、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と被加熱物の各検出点における検出温度の変化量との関係を各加熱源について求め、次に、その求めた関係に基づいて被加熱物の各検出点の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出するようにしている。

【0042】このように、まず、各加熱源の加熱条件の変化量と、被加熱物の各検出点の温度変化量との関係を把握するので、被加熱物の各検出点をそれぞれ目標温度にするための各加熱源の加熱条件の設定を一義的に行うことができる。

【0043】したがって、本発明を例えばリフロー炉に適用すれば、プリント配線板に搭載された小型電子部品への熱的ダメージを最小限に押さえ、かつ大型電子部品へのはんだ付け性を損なわないよう、プリント配線板の温度差を最小にする最適な加熱条件を求めることができる。これにより、複数の加熱源を持つリフロー炉でも、作業者の勘や推量により際限なく加熱条件の設定を繰り返すことなく、熟練した作業者でなくとも必要最小限の時間と作業で最適な加熱条件を設定することができる。

【0044】

【発明の実施の形態】この発明の加熱条件設定方法を適用可能な加熱炉としては、特に形式は限定されないが、石油、ガス、石炭などによる燃焼加熱炉よりも、電気加熱による電気加熱炉に主として好適に適用可能である。

【0045】電気加熱炉としては、加熱源の加熱方式でみた場合、抵抗加熱、アーク・プラズマ加熱、誘導加熱、電磁波加熱、赤外線加熱、ビーム加熱等の方式を用いた各種の加熱炉が挙げられるが、本発明の加熱条件設定方法にさらに好適に適用可能な電気加熱炉としては、熱風ファンヒータのような熱風送風型と赤外線ヒータのような熱放射型のタイプの異なる2つ以上の電気加熱源を用いた電気加熱炉、例えば、電子部品が装着されたプリント配線板をコンベアで搬送し、その間にプリント配線板を熱風ファンヒータや赤外線ヒータで加熱してリフローはんだ付けを行うリフロー炉のような電気加熱炉に最も好適に適用可能である。

【0046】この発明において、被加熱物としては、固体を対象とし、温度管理が必要な加熱対象物であればどのようなものであってもよいが、例えば本発明をリフロー炉に適用する場合であれば、被加熱物として電子部品が搭載されたプリント配線板等を挙げることができる。

【0047】複数の加熱源としては、2つ以上の加熱源で被加熱物を加熱できるものであれば、どのようなものであってもよく、特に限定されないが、近赤外線ヒータ、遠赤外線ヒータ、熱風ファンヒータ等の各種のヒータを適用することができる。

【0048】被加熱物の温度は複数の検出点で検出する必要があるが、この検出点の数は、多元連立方程式を解くために、加熱源の数と一致させることが好ましい。この被加熱物の検出点における温度の検出は、熱電対などの温度センサを被加熱物に取り付けるなどの方法で実測してもよいし、熱解析を行うなどして計算により求めるようにしてもよい。計算で求める場合には、例えば、本願出願人が1996年6月13日に提出した特願平8-152377号に記載の熱解析方法を適用することができる。

【0049】加熱条件の変化量と被加熱物の検出温度の変化量との関係の算定、加熱条件の算出、および複数の加熱源の制御には、CPU、ROM、RAM、I/Oポートからなるマイクロコンピュータを適用することができる。

【0050】この発明は、また、加熱炉内で被加熱物を複数の加熱源を用いて加熱するに際し、複数の加熱源に対してそれぞれ加熱条件を設定する設定手段と、被加熱物が加熱された後の被加熱物の温度を複数の検出点で検出する検出手段と、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と被加熱物の各検出点における検出温度の変化量との関係を各加熱源について算定する算定手段と、その算定した関係に基づいて被加熱物の各検出点の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出する算出手段と、その算出した加熱条件により複数の加熱源を制御する制御手段とを備えてなる加熱炉の加熱条件設定装置である。

【0051】この発明は、さらに、上記加熱炉の加熱条件設定装置を制御するための処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

【0052】この発明は、また、加熱炉内を所定の速度で移動する被加熱物の形状と物性値を入力する被加熱物データ入力手段と、被加熱物を格子状に分割して計算格子を作成するとともに、その計算格子で分割された各計算要素毎に物性値を定義する計算格子生成手段と、加熱炉内の加熱条件を入力する加熱条件入力手段と、入力された加熱条件から時間の経過に伴って変化する被加熱物の輻射境界条件と熱伝達境界条件とを設定する設定手段と、計算格子生成手段によって作成された各計算要素毎の、設定手段によって設定された輻射境界条件と熱伝達境界条件とさらに被加熱物内における熱伝導に基づいて、各計算要素毎の温度分布を被加熱物の所定範囲の移動毎に算出する算出手段と、算出手段によって算出された温度分布を出力する出力手段とを備えてなる加熱炉内

の被加熱物の熱解析装置である。

【0053】この発明において、被加熱物は、加熱炉内を所定の速度で移動するが、このようなものとして、リフロー炉内を一定の速度で搬送される電子部品を搭載したプリント配線板を挙げることができる。

【0054】被加熱物の形状の入力は、2次元形状あるいは3次元形状のいずれの入力形態であってもよい。また、被加熱物の実寸の入力、あるいは各種の寸法の被加熱物をあらかじめ記憶させておき、その中から所望の寸法の被加熱物を選択する形式の入力であってもよい。

【0055】物性値は、比熱、密度、熱伝導率、赤外線吸収率などのデータである。この物性値の入力も、各種の材料の物性値をあらかじめ記憶させておき、その中から被加熱物の材料を指定することにより被加熱物の物性値を入力する形式のものであってもよい。

【0056】したがって、被加熱物データ入力手段としては、例えば、プリント配線板あるいはプリント配線板に搭載する電子部品の形状をあらかじめ記憶した部品形状データメモリと、この部品形状データメモリから所望の形状を呼び出して指定するポインティングデバイスとを組み合わせただけのものであってもよい。

【0057】また、プリント配線板と電子部品の物性値をあらかじめ記憶した物性値メモリをさらに備えた構成であってもよく、その場合には、プリント配線板と電子部品の形状の指定の際に、物性値メモリから対応する物性値を呼び出して、その物性値をプリント配線板と電子部品にそれぞれ自動的に関連付けることができるように構成しておくことが望ましい。

【0058】加熱炉内の加熱条件は、加熱炉内の内部構造や、各ヒータについての大きさ、配置位置、設定温度、各ブローの吹き出し口の位置、ブローの設定温度、被加熱物の移動速度、例えば被加熱物がコンベアベルトで搬送されるのであればコンベアベルトの搬送速度などである。この加熱炉内の加熱条件を入力する加熱条件入力手段としては、キーボードを用いることができる。

【0059】設定手段は、あらかじめ記憶した炉内輻射特性データに基づいて輻射境界条件を設定する処理装置と、あらかじめ記憶した炉内熱伝達特性データに基づいて熱伝達境界条件を設定する処理装置とから構成することができる。

【0060】計算格子生成手段、設定手段および算出手段としては、CPU、ROM、RAM、I/Oポートからなるマイクロコンピュータを適用することができる。

【0061】出力手段としては、CRTディスプレイ装置、プラズマディスプレイ装置などの各種の表示装置や、熱転写プリンタ、レーザプリンタなどの各種のプリンタを用いることができる。

【0062】この発明は、また、上記加熱炉内の被加熱物の熱解析装置を制御するための処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュー

タ読み取り可能な記録媒体である。

【0063】この発明によれば、被加熱物の形状と物性値を入力し、加熱炉内の加熱条件を入力することにより、自動的に、時間の経過に伴って変化する被加熱物の輻射境界条件と熱伝達境界条件とさらに被加熱物内における熱伝導に基づいて、各計算要素毎の温度分布が被加熱物の所定範囲の移動毎に算出されて出力される。

【0064】したがって、本発明の加熱炉内の被加熱物の熱解析装置を用いれば、利用者が容易に加熱炉内の、例えばプリント配線板のような被加熱物の熱解析を行うことができる。

【0065】上記加熱炉内の被加熱物の熱解析装置においては、被加熱物データ入力手段を、プリント配線板の形状及びその物性値、プリント配線板に装着された部品の形状及びその物性値、部品とプリント配線板との間のギャップ空間の形状、並びに部品とプリント配線板とを接続する端子を含む端子空間の形状及びその端子の物性値を入力する形状及び物性値入力手段とで構成し、計算格子生成手段を、形状及び物性値入力手段から入力された部品及びギャップ空間をプリント配線板の厚みとほぼ等しい厚みの直方体とみなしたモデルを設定する部品及びギャップ空間モデル設定手段と、入力された端子空間を端子の大きさに応じた厚みの直方体とみなしたモデルを設定する端子モデル設定手段と、このようにして得られた部品の直方体モデルとギャップ空間の直方体モデルと端子空間の直方体モデルに対して物性値の補正を行う補正手段とをさらに備えた構成とすることが望ましい。

【0066】この構成であれば、部品及びギャップ空間を基板の厚みとほぼ等しい厚みの直方体とみなすとともに、端子空間を端子の大きさに応じた厚みの直方体とみなし、このようにして得られた直方体モデルに対して、それぞれ物性値の補正を行って各直方体モデルに実際の物性値を適用させるので、計算要素の数を大幅に削減して、従来よりも短時間で解析計算を行うことができ、しかもモデル化による誤差のない正確な解析を行うことが可能となる。

【0067】この発明は、また、リフロー炉内を移動するプリント配線板の熱解析を行う熱解析装置と、その熱解析装置によって得られた熱解析の結果に基づいてリフロー炉の加熱条件を設定する加熱条件設定装置とを備えたリフロー炉の制御装置であって、熱解析装置が、リフロー炉内で加熱されるプリント配線板の形状及びその物性値、プリント配線板に装着された部品の形状及びその物性値、部品とプリント配線板との間のギャップ空間の形状、並びに部品とプリント配線板とを接続する端子を含む端子空間の形状及びその端子の物性値を入力する形状及び物性値入力手段と、入力された部品及びギャップ空間をプリント配線板の厚みとほぼ等しい厚みの直方体とみなしたモデルを設定する部品及びギャップ空間モデル設定手段と、入力された端子空間を端子の大きさに応

じた厚みの直方体とみなしたモデルを設定する端子モデル設定手段と、このようにして得られた部品の直方体モデルとギャップ空間の直方体モデルと端子空間の直方体モデルに対して物性値の補正を行う補正手段と、直方体モデルを格子状に分割して計算格子を作成するとともに、その計算格子で分割された各計算要素毎に物性値を定義する計算格子生成手段と、加熱炉内の加熱条件を入力する加熱条件入力手段と、入力された加熱条件から時間の経過に伴って変化する被加熱物の輻射境界条件と熱伝達境界条件とを設定する設定手段と、計算格子生成手段によって作成された各計算要素毎の、設定手段によって設定された輻射境界条件と熱伝達境界条件とさらに被加熱物内における熱伝導に基づいて、各計算要素毎の温度分布を被加熱物の所定範囲の移動毎に算出する算出手段と、算出手段によって算出された温度分布を出力する出力手段とからなり、加熱条件設定装置が、加熱炉内で被加熱物を複数の加熱源を用いて加熱するに際し、複数の加熱源に対してそれぞれ加熱条件を設定する加熱条件設定手段と、直方体モデルが加熱された後の直方体モデルの各計算要素毎の温度分布を熱解析装置から受け取る温度検出手段と、複数の加熱源のうちの1つの加熱源における加熱条件の変化量と直方体モデルの各計算要素における温度の変化量との関係を各加熱源について算定する算定手段と、その算定した関係に基づいて直方体モデルの各計算要素の温度を目標温度にするための各加熱源における加熱条件を算出する加熱条件算出手段と、その算出した加熱条件により複数の加熱源を制御する制御手段とからなるリフロー炉の制御装置である。

【0068】この発明は、さらに、上記リフロー炉の制御装置を制御するための処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

【0069】以下、図面に示す実施の形態に基づいてこの発明を詳述する。なお、これによってこの発明が限定されるものではない。本発明を適用する加熱炉として、リフロー炉を例に挙げて説明する。

#### 【0070】実施例1

実施例1として、リフロー炉の加熱条件設定装置及びその装置による処理について説明する。図1はリフロー炉の構成を示す説明図である。この図において、1はトンネル状の炉体、2は加熱されるプリント配線板（単に基板とも記す）、3はプリント配線板2を搬送するコンベア、4はコンベア3の上側に配置された加熱源1、5はコンベア3の上側に配置された加熱源2、6はコンベア3の上側に配置された加熱源3、7はコンベア3の下側に配置された加熱源4である。本実施例においては、加熱源1と加熱源4としては遠赤外線ヒータを、加熱源2としては近赤外線ヒータを、加熱源3としては熱風ファンヒータを採用している。

【0071】炉内は、加熱ゾーンを1～4までの4つの

加熱ゾーンに分け、各加熱ゾーンに上記加熱源1～4までの4つの加熱源をそれぞれ配置した構成となっている。

【0072】図2はリフロー炉内で加熱されるプリント配線板2の拡大図である。このプリント配線板2は、基板の部品搭載用のパターンにクリーム状のはんだペースト2aを印刷し、この上に電子部品2bを搭載したものである。このプリント配線板2には、加熱源の数と同じだけの温度検出点を設定する必要がある、本例では加熱源が4つであるため、4つの温度検出点を設定している。

【0073】この理由は以下による。すなわち、プリント配線板2に電子部品2bを搭載してリフローはんだ付けを行う場合、大型の電子部品のリード部は加熱されにくく、はんだの未着が起りやすい。また、小型の電子部品は加熱されやすく、熱ダメージを受けやすい。したがって、これらのリフロー温度の管理を重視したい点を選択し、重要な順に番号を付け、その順番で各温度検出点に番号を付している。

【0074】リフローはんだ付けを行う際には、プリント配線板2をコンベア3上に置き、入口Aから出口Bに向けて、矢印Dで示す方向に炉体1内を搬送する。この搬送過程で、プリント配線板2を、加熱源1（遠赤外線ヒータ）、加熱源2（近赤外線ヒータ）および加熱源4（近赤外線ヒータ）からの輻射熱と、加熱源2（熱風ファンヒータ）から吹き出す熱風により加熱する。この加熱により、プリント配線板2の温度上昇に伴ってプリント配線板2に印刷されたはんだペーストが溶融し、炉外に搬送され室温にさらされることで冷却されてはんだが固まり、はんだ付けが完了する。

【0075】この時、プリント配線板2の温度は、上記従来の技術で述べたように、図5のグラフに示した曲線となるように制御する。すなわち、予備加熱と均一加熱と本加熱の3段階の加熱制御を行う。このように、プリント配線板2の温度を単純に上昇させるのではなく、急激に加熱することによるプリント配線板の熱ダメージを少なくするために、予備加熱をした後、プリント配線板の温度を一定に保持する均一加熱を行う。このために、リフロー炉内に、性質の異なる4つの加熱源1～4を配置し、加熱ゾーンを4つに分けるようにしている。そして、はんだが溶融する温度は200℃以上であるため、本加熱のピーク点の温度を210℃前後に設定し、この温度までプリント配線板2を加熱する。

【0076】図3はリフロー炉のリフロー条件を設定するための制御装置の構成を示すブロック図である。この図において、11はCPU、12はCPUに入力データや制御データを入力するとともに入出力データをモニターするコンソール、13はプリント配線板2の温度を検出する温度センサ、14は以下に述べるCPU12の制御プログラムを記憶したROM、15はデータの一時的

記憶のRAMである。

【0077】プリント配線板2には、上述したように、1～4までの温度検出点が設定されており、この温度検出点1～4の検出温度が温度センサ13で検出されてCPU12に入力される。この温度検出は、熱電対などの温度センサをプリント配線板2に取り付けて実測する。

【0078】なお、温度検出点1～4における温度は、実測するのではなく、熱解析を行って計算で求めるようにしてもよい。計算で求める場合には、本願出願人が1996年6月13日に提出した特願平8-152377号に記載の熱解析方法や、後述する実施例2の熱解析装置による方法などを適用することができる。計算で求める場合は、自動的に、はんだ付けを行うため十分な加熱が必要なリード部の最低温度点や、熱的ダメージを受けやすいため必要最小限の加熱に抑えたい小型のチップ部品や基板の最高温度点を選び出すようにしてもよい。

【0079】CPU12は、温度検出点1～4の検出温度のデータを受け、これに基づいて加熱源1～4の加熱条件を設定し、加熱源1～4を制御する。なお、プリント配線板の温度検出点と加熱源は、本実施例では1～4としたが、これらは温度検出点1～J、加熱源1～I（ただしI=J）のように多数設定してもよい。

【0080】以下、CPU12の処理動作の内容を図4に示すフローチャートに従い説明する。この説明においては、プリント配線板2の温度検出点と加熱源は、任意の数だけ設定するものとする。

【0081】この図に示すように、リフロー条件の設定は以下のようにして行う。ステップS1において、プリント配線板（回路基板）上でリフロー温度の管理を重視したい点である温度検出点1～Jを決定する。加熱源がI個ある場合は、プリント配線板2上からI個の温度検出点を選択する。

【0082】上述したように、大型電子部品のリード部は加熱されにくいのはんだの未着が起りやすく、小型電子部品は加熱されやすいので熱ダメージを受けやすい。したがって、これらの各点について重要な順番に番号付けを行い、その順序で温度検出点に番号1～Jを付ける。ここで、加熱源がI個ある場合、 $J=I$ である。これらの番号を付けた各温度検出点をjとする。

【0083】ステップS2において、プリント配線板2上の温度検出点1～Jについて、各温度検出点jのリフロー時の目標温度 $t_j$ をコンソール12から入力する。

【0084】ステップS3において、基本となる、ヒータ温度、熱風温度等の各加熱源iのリフロー条件をそれぞれ入力する。この条件を条件0とする。このリフロー条件0における加熱源iの設定値を $T_0$ とする。

【0085】ステップS4において、プリント配線板2上の温度検出点1～Jについて、基本となるリフロー条件0における各温度検出点jの温度 $t_{j0}$ をそれぞれ取得する。本実施例では、プリント配線板2の熱解析を行い、



解析結果から取得するようにした。

【0086】ステップS5において、基本となるリフロー条件の設定から、1つの加熱源iの設定値のみを変更する。この条件を条件iとする。この設定値の変更は、プリント配線板2の温度が目標値になるべく近づくようにする。リフロー条件iにおける加熱源iの設定値を $T_{ii}$ とする。

【0087】ステップS6において、ステップS5で変更したリフロー条件iにおけるプリント配線板2の温度分布を取得する。すなわち、各温度検出点jの温度 $t_{ij}$ を取得する。ここでは、ステップS4と同様に熱解析を行い、リフロー条件iにおける各温度検出点jの温度 $t_{ij}$ を取得するようにした。

【0088】ステップS7において、各温度検出点jにおけるリフロー条件0のときの温度 $t_{j0}$ とリフロー条件iのときの温度 $t_{ij}$ との温度変化量 $\Delta t_{ij}$ 、および、加熱源iにおけるリフロー条件0のときの設定値 $T_{i0}$ とリフロー条件iのときの設定値 $T_{ii}$ との変化量 $\Delta T_{ii}$ を計算し、次式により、加熱源iの設定値の変化量 $\Delta T_{ii}$ と、各温度検出点jの温度変化量 $\Delta t_{ij}$ に関する係数 \* 20

$$\begin{cases} \Delta t_{i1} = a_{i1} \times \Delta T_{i1} + a_{i2} \times \Delta T_{i2} + a_{i3} \times \Delta T_{i3} + \dots + a_{in} \times \Delta T_{in} + \dots + a_{ij} \times \Delta T_{ij} + \dots + a_{in} \times \Delta T_{in} \\ \Delta t_{i2} = a_{i2} \times \Delta T_{i1} + a_{i2} \times \Delta T_{i2} + a_{i2} \times \Delta T_{i3} + \dots + a_{i2} \times \Delta T_{in} + \dots + a_{i2} \times \Delta T_{ij} + \dots + a_{i2} \times \Delta T_{in} \\ \dots \\ \Delta t_{ij} = \dots \\ \dots \\ \Delta t_{in} = \dots \end{cases}$$

【0092】ステップS11において、これらの連立方程式を $\Delta t_{ij}$ について解く。各温度検出点jがそれぞれ目標温度 $t_{jt}$ となる各加熱源iの最適なリフロー条件設定値 $t_{T_i}$ は、以下の式によって一義的に求めることができる。【 $T_i = \Delta t_{T_i} + T_{i0}$ 】

【0093】この作業を、例えば、図1に示したように加熱ゾーンが4つあるのであれば、4つの加熱ゾーンに対してそれぞれ行うことにより、各加熱ゾーンにある赤外線ヒータや熱風ファンヒータなどの加熱源1～Jを最適な加熱条件に設定することができる。これにより、対象となるプリント配線板2に対する最適なリフロー条件を設定して、良好なリフローはんだ付けを行うことができる。

【0094】このようにして、任意の初期条件で加熱したときの各温度検出点の温度と、その任意の初期条件から1つの加熱源の設定のみを変更したときの各温度検出点の温度とを各加熱源について求め、これらの温度の変化量から、各温度検出点に対する各加熱源の加熱の影響を知ることにより、各温度検出点の温度を目標温度にするための各加熱源の最適なリフロー条件設定値を求めることができる。

【0095】このように、各加熱源の設定変化量と各温度検出点の温度変化量との関係を把握するので、各温度検出点を目標の温度にするための各加熱源の設定を一義

\*  $a_{ij}$ を求める。 $a_{ij} = \Delta t_{ij} / \Delta T_{ii}$

【0089】ステップS8において、ステップS5～ステップS7までの作業を、加熱源1～Iのすべてに対して行ったか否かを判断する。すべての加熱源について行っていない場合は、ステップS9へ進み、リフロー条件を条件0から条件iに変更すべき加熱源iを設定する。つまり対象となる次の加熱源iを設定し、ステップS5に戻る。すべての加熱源iについてステップS5～ステップS7までの作業を終了した後、ステップS10へ進む。

【0090】ステップS10において、各温度検出点jにおける目標温度 $t_{jt}$ とリフロー条件0のときの温度 $t_{j0}$ との温度差 $\Delta t_{jt}$ について、各温度検出点jを目標温度にするための加熱源1～Iの設定値 $t_{T_i}$ とリフロー条件0のときの設定値 $T_{i0}$ との変位量 $\Delta t_{T_i}$ 、および、ステップS7で求めた係数 $a_{ij}$ から、 $\Delta t_{jt}$ に関して以下のような連立方程式を立てる。

【0091】

【数1】

的に決定することができる。また、プリント配線板に搭載された小型電子部品への熱的ダメージを最小限に抑え、かつ大型電子部品へのはんだ付け性を損なわないよう、プリント配線板内の温度差を最小にする最適な加熱条件を設定することができる。

【0096】したがって、複数の加熱源を配置したリフロー炉においても、作業者の勘や推量により際限なく加熱条件の設定を変更してゆく必要がなくなり、また熟練した作業者でなくとも必要最小限の時間と作業で最適な加熱条件を設定することができる。

#### 【0097】実施例2

実施例2として、リフロー炉内で加熱される被加熱物（プリント配線板）の熱解析装置及びその装置による処理について説明する。

【0098】図6は本発明による加熱炉内の被加熱物の熱解析装置の構成を示すブロック図である。本発明の加熱炉内の被加熱物の熱解析装置は、CPUを用いた装置であるため、以下においては熱解析システムという。また、加熱炉としてリフロー炉を適用し、被加熱物として電子部品を搭載したプリント配線板（プリント板または単に基板とも記す）を適用した熱解析の例を挙げて説明する。すなわち、本熱解析システムを、リフロー加熱時のプリント配線板の熱解析を汎用的に行うシステムであるとして説明を行う。なお、本熱解析装置のハードウエ

アは実施例1の加熱条件設定装置で用いたコンピュータおよび入出力装置を兼用することができる。

【0099】本熱解析システムは、図に示すように、入力装置101、表示装置102、形状データ処理部103、リフロー条件設定処理部104、解析結果表示処理部105、物性値データ記憶部106、搭載部品形状データ記憶部107、プリント板形状データ記憶部108、炉内輻射特性データ記憶部109、炉内熱伝達特性データ記憶部110、温度分布データ記憶部111、計算格子生成処理部112、輻射境界条件設定処理部113、熱伝達境界条件設定処理部114、計算格子データ記憶部115、および解析処理部119から構成されている。

【0100】解析処理部119は、熱伝達計算処理部116、輻射計算処理部117、および熱伝導計算処理部118から構成されている。

【0101】入力装置101は各種データの入力や各種処理コマンドの入力に用いる。表示装置102は各種データの入力状態の表示や各種処理状態の表示を行う。形状データ処理部103は基板の形状や搭載部品の形状、基板上に搭載される部品の位置などを取り込み、内容の変更や、搭載部品形状データ記憶部107やプリント板形状データ記憶部108に記憶された内容の更新を行う。

【0102】ここで、搭載部品形状データ記憶部107に記憶される搭載部品形状データは、図7に示すように、3次元空間上の座標を示すデータ複数から構成されている。搭載部品形状データは、点200により構成される直線201、直線群から構成される面202、面によって構成されるブロック203から構成されている。また搭載部品の形状を構成する各ブロック203には、物性値データ記憶部106から比熱、密度、熱伝導率、赤外線吸収率などの物性が与えられている。

【0103】プリント板形状データ記憶部108に記憶されるプリント板形状データは、図8に示すように、3次元空間上の座標を示す基板の形状データと、搭載部品形状データ記憶部107中に記憶されている部品の名前と、この部品が配置される3次元空間上の座標データ304から構成される。基板の形状データは、点300により構成される直線301、直線群から構成される面302、面によって構成されるブロック303から構成されている。また基板の形状を構成する各ブロック303には、物性値データ記憶部106から比熱、密度、熱伝導率、赤外線吸収率などの物性が与えられている。

【0104】プリント板形状データは、プリント配線板作成用のプリント板設計CADシステム120から取り込む方法を利用しても良い。

【0105】プリント板形状データ記憶部108に記憶されたプリント板形状データは、計算格子生成処理部112に取り込まれる。計算格子生成処理部112では、

プリント板形状データ中の部品の名前を参照して、搭載部品形状データ記憶部107から搭載部品の形状を読み込み、プリント板形状データ中の部品が搭載される基板位置に搭載部品の形状を加える。次に計算格子生成処理部112では、部品が搭載されたプリント配線板の形状に対して計算格子を作成し、その計算格子で分割された各計算要素毎に物性値を定義する。この計算格子の生成は、従来公知の方法で行う。

【0106】リフロー条件設定処理部104では、入力装置101から入力されるリフロー炉の内部構造や各ヒータの大きさ、配置、温度設定、各ブローの吹き出し口の位置、ブローの設定温度、コンベアベルトの搬送速度などを取り込み、表示装置102にエコー表示させる。

【0107】またリフロー条件設定処理部104では、入力された情報を、ヒータの面積や温度、プリント配線板との位置関係などの輻射計算に必要な情報については炉内輻射特性データ記憶部109に記憶し、熱伝達係数や雰囲気温度など熱伝達計算に必要な情報については炉内熱伝達特性データ記憶部110に記憶したり、内容の更新を行ったりする。

【0108】炉内輻射特性データ記憶部109および炉内熱伝達特性データ記憶部110に記憶された輻射特性データと熱伝達特性データは、輻射境界条件設定処理部113、熱伝達境界条件設定処理部114にそれぞれ取り込まれ、計算格子データ記憶部115の計算格子の所定の境界面に輻射境界条件と熱伝達境界条件を設定する。

【0109】輻射境界条件とは輻射によって伝わる熱量であり、以下の式によって表される。

$$q_{\text{rad}} = F \cdot \sigma \cdot A (T_s^4 - T_f^4)$$

ただし、Fは形態係数であり、どの程度輻射の影響を受けるのかの係数、 $\sigma$ はステファンボルツマン係数、Aは格子状に切られたプリント配線板の1つのメッシュの面積、 $T_s$ はヒータの温度[K(絶対温度)]、 $T_f$ はプリント配線板の温度[K(絶対温度)]である。

【0110】また、熱伝達境界条件とは対流によって伝わる熱量であり、以下の式によって表される。

$$q_{\text{conv}} = h \cdot A (T_s - T_f)$$

ただし、hは熱伝達係数であり、ブローの風速に関する係数、Aは格子状に切られたプリント配線板の1つのメッシュの面積、 $T_s$ は雰囲気温度[℃(摂氏)]、 $T_f$ はプリント配線板の温度[℃(摂氏)]である。

【0111】したがって、輻射境界条件と熱伝達境界条件との双方による熱量は、

$$Q = q_{\text{rad}} + q_{\text{conv}}$$

となる。

【0112】解析処理部119では、計算格子データ記憶部115に記憶された計算格子を読み込み、輻射境界条件設定処理部113から出力された輻射境界条件および熱伝達境界条件設定処理部114から出力された熱伝



達境界条件に基づいて熱解析処理を行う。

【0113】この際、プリント配線板が炉内をコンベアベルトで搬送されることにより、輻射境界条件および熱伝達境界条件が時間の経過に伴って変化する場合、解析処理部119内の輻射計算処理部117と熱伝達計算処理部116によって経過時間ごとの輻射境界条件と熱伝達境界条件を再計算し、熱伝達計算処理部118は、輻射計算処理部117と熱伝達計算処理部116から出力される計算結果を呼び込み、リフロー炉内の各位置のプリント配線板の熱伝導解析を行う。解析終了後に解析結果を温度分布データ記憶部111に記憶する。

【0114】解析結果表示処理部105は、温度分布データ記憶部111からプリント配線板の温度分布データを呼び込み、グラフィック処理を行って表示装置102に表示する。

【0115】以上が本熱解析システムの構成である。次に、本発明の熱解析システムにおける処理内容を図9のフローチャートに従い説明する。

【0116】はじめに、ステップ401の工程で部品を搭載する基板（プリント配線板）の外形を入力する。コンピュータにおける形状表示処理が容易であることから、基板は2次元形状として扱うこともできる。また、形状入力にはポインティングデバイスを用いても良い。

【0117】次に、ステップ402の工程で基板の物性を定義する。基板の物性は物性値データ記憶部106に記憶されており、ここから選択することで定義できる。

【0118】次に、ステップ403の工程において作成した基板の形状モデルの上に部品を配置する。部品はあらかじめ最適に簡略化した形状が、搭載部品形状データ記憶部107に記憶されており、ここから選択して基板上に配置してゆく。また搭載部品形状データ記憶部107にない新規部品は、新たに形状を作成し、搭載部品形状データ記憶部107に登録して、繰り返し使用することができる。以上の工程で、プリント配線板の解析形状の作成は終了である。

【0119】次に、ステップ404の工程において、リフロー炉の加熱条件を設定する。この工程では、リフロー炉内におけるヒータの位置や各ヒータの設定温度、また各ブローの位置と設定温度、プリント配線板を搬送するベルトコンベアの速度を入力する。以上のステップ401～ステップ404の工程が手動での設定が必要な部分であり、これ以降の工程は本熱解析システムにおいて自動で行う。

【0120】まず、ステップ405の工程で解析形状に対し自動的に計算格子を作成する。この計算格子に、ステップ404の工程で設定されたリフロー炉の加熱条件をもとにして自動的に輻射境界条件と熱伝達境界条件を設定する。

【0121】ステップ406の工程では、設定された境界条件に基づいてプリント配線板の熱伝導解析を行う。

ただし、プリント配線板が炉内を移動することにより境界条件は変化するので、ステップ407の工程でいったん解析をストップし、炉の出口まで解析が終了していない場合、ステップ408～ステップ409において、再度、輻射境界条件と熱伝達境界条件を設定し直し、熱伝導解析を再開する。

【0122】最後に、ステップ410の工程において、グラフィック処理を行ったプリント配線板の温度分布データを表示装置102に表示する。これにより解析を行う作業者は、プリント配線板の熱解析結果を得ることができる。

【0123】本実施例においては、解析を行う作業者は、プリント配線板の形状作成にあたっては、あらかじめデータベースに格納され最適に簡略化された3次元形状の電子部品を基板上に配置するだけで、容易に形状作成を行うことができ、3次元形状に対して自動的に計算格子を設定することができる。

【0124】また、加熱炉内で時間の経過に伴って変化する輻射境界条件と熱伝達境界条件は一定の時間毎に自動的に設定されるので、これらの境界条件に基づいて、計算格子を作成したプリント配線板の解析モデルの熱解析を一定の時間毎に自動的に行って、プリント配線板の各計算格子毎の温度プロファイルを算出することができる。

【0125】したがって、この熱解析システムを用いれば、利用者が容易にリフロー炉内のプリント配線板の熱解析を行うことができ、以下の様な優れた効果が得られる。

【0126】（1）プリント配線板の解析モデルの作成を専門的な知識を必要とせず短時間で行うことができる。

【0127】（2）熱解析の際に、炉内をプリント配線板が移動することにより変化する輻射境界条件および熱伝達境界条件を一定の経過時間ごとに再設定する必要がない。

### 【0128】実施例3

実施例3として、リフロー炉内で加熱される被加熱物（プリント配線板）の熱解析モデルのモデル化方法について説明する。本例の解析モデルは、基板の厚さと同じ厚さの計算要素を基板の片面あるいは両面に2層以上ずつ持つ、プリント配線板の解析モデルである。

【0129】なお、本モデル化方法の実施に直接用いるハードウェアは、実施例1の加熱条件設定装置で用いたコンピュータおよび入出力装置、あるいは実施例2の熱解析装置で用いたコンピュータおよび入出力装置を兼用することができる。

【0130】差分法を用いて熱伝導解析を行う場合のプリント配線板のモデル化に際しては、図11の（a）および（b）に示すようにプリント配線板を簡略化し、この簡略化した形状の解析モデルを用いた。

【0131】図11(a)は実際のプリント配線板の部分斜視図、図11(b)はモデル化したプリント配線板の部分斜視図である。図11(a)中、601は実際の基板、600は実際の部品、605は実際のリードである。図11(b)中、701はモデル化した基板、700はモデル化した部品、705はモデル化したリード、706は基板と部品との間の空気の層をモデル化したものであり、全て直方体のモデルである。

【0132】図12はモデル化したプリント配線板を側面からみた状態を示す説明図である。この図において、701は図11(b)のモデル化した基板に相当するものであり、基板の解析モデル(基板モデル)である。700は図11(b)のモデル化した部品に相当するものであり、SOP、QFPあるいはPGAのような部品本体の解析モデル(部品モデル)である。705は図11(b)のモデル化したリードに相当するものであり、部品のリードの解析モデル(リードモデル)である。706は図11(b)の基板と部品との間の空気の層をモデル化したものに相当するものであり、基板と部品との間のギャップの解析モデル(ギャップモデル)である。707はピン状の接続端子の解析モデル(接続端子モデル)である。

【0133】図12の解析モデルに差分解析を行うための計算格子を作成した場合の説明図を図13に示す。差分解算の際の計算要素をなるべく少なく、かつ計算要素の寸法を大きくとるため、片面のみ部品を実装する場合のプリント配線板の厚さ方向の分割数は3層(部品2層+基板1層)とした。図13のごとく、プリント配線板を厚さ方向に3分割とするため、部品の種類や形状・大きさ(高さ)等に関わらず、全ての部品の解析モデルは厚さ方向に2層に分割し、上層、下層とも解析上の厚さは1mmに統一した。

【0134】ところで、厚さが異なる部品間では熱容量が異なるため、構造や材質が同じ場合でも、リフロー加熱時に温度差が生ずる。しかし、上述したように解析上では高さ、及び上下の層の厚みを統一しているために、このままでは両部品の間に温度差は生じない。そこで各部品モデルの高さと各層の厚みを統一したままで、実際の部品の高さや部品本体の厚みによる温度差を考慮するため、解析上では部品モデル毎に上層と下層に定義する比熱や密度(比熱×密度=熱容量)などの物性値を、部品の高さや部品本体の厚みに応じて補正した。以下に部品各部に定義した物性値について述べる。

【0135】部品モデル700の熱容量の補正は、実際の部品本体の厚みが、部品モデル700の厚み(1mm)より厚い場合はモデルの熱容量を大きく、薄い場合はモデルの熱容量を小さく補正した。部品モデル700の熱容量は以下の式により補正した。

$$BQ_0 = BQ_0 \times (BT_0 / BT_1)$$

ただし BQ<sub>0</sub> : 部品モデルの熱容量

BQ<sub>0</sub> : 部品本体の実際の熱容量

BT<sub>0</sub> : 部品本体の実際の厚さ

BT<sub>1</sub> : 部品モデル上層の厚さ(1mm)

【0136】基板/部品間のギャップモデル706の熱容量は、実際の基板/部品間のギャップの厚みが、基板/部品間のギャップモデル706(1mm)より厚い場合はモデルの熱容量を大きく、薄い場合はモデルの熱容量を小さく補正した。部品/基板間のギャップモデル706に設定した熱容量は以下の式により補正した。

$$GQ_0 = GQ_0 \times (GT_0 / GT_1)$$

ただし GQ<sub>0</sub> : ギャップモデルの熱容量

GQ<sub>0</sub> : ギャップの実際の熱容量

GT<sub>0</sub> : ギャップの実際の厚さ

GT<sub>1</sub> : ギャップモデルの厚さ(1mm)

【0137】基板の厚さ方向の温度差は、部品と基板の間の温度差や基板の平面方向の温度差に比べて極めて小さい。このため基板の厚さ方向の温度分布は無視でき、計算要素数をなるべく少なく、かつ計算要素の寸法を大きくとるため、基板モデル701の厚さ方向は1分割とした。また部品モデル700は上下層を1mmと統一したのに対して、実際の基板601の厚さは1mm程度であることから、基板モデル701の厚さは、実際の基板601の厚さと等しくした。実際の基板601と基板モデル701の容積は等しいことから、物性値の補正は行わない。

【0138】次に、リードモデル705に定義した熱容量について述べる。図14に実際のリード605の形状とリードモデル705の形状とを比較した説明図を示す。この図に示すように、リードモデル705は、実際のリード605よりも大きく、実際のリード605とリード605の周囲の空間とを含んだ直方体のモデルとなっている。

【0139】リードモデル705の高さは、他の部品の解析モデルと高さをそろえるため、2mmとした。リードモデル705は、実際のリード605とリードの周囲の空気708を含む。そこで、リードモデル705の熱容量は、リードモデル705内に含まれた、実際のリード605の容積と空気708の容積の比から計算した。リードモデル705に定義した熱容量は以下の計算式により求めた。

$$LQ_0 = LQ_0 \times (LC_0 / LC_1) + AQ \times (AC / LC_1)$$

ただし LQ<sub>0</sub> : リードモデルの熱容量

LQ<sub>0</sub> : リードの実際の熱容量

LC<sub>0</sub> : モデル内の実際のリードの容積

LC<sub>1</sub> : リードモデルの容積

AQ : 空気の熱容量

AC : モデル内の空気の容積

【0140】接続端子モデル707の熱容量は、上記したリードモデル705の熱容量と同様に、接続端子モデ

ル707に占める接続端子607の容積と空気の容積の比から計算した。

【0141】図15に実際の接続端子607の形状と接続端子モデル707の形状とを比較した説明図を示す。この図に示すように、接続端子モデル707は、実際の接続端子607と接続端子間の空間を含んだ直方体のモデルとなっている。すなわち、接続端子モデル707は実際の接続端子607と接続端子間の空気708を含んでいる。

【0142】また、他の解析モデルと高さをそろえるため、接続端子モデル707の高さは1mmにそろえた。実際の接続端子607の高さが、接続端子モデル707の高さ(1mm)より高い場合は、モデルの熱容量を大きく、低い場合はモデルの熱容量を小さく補正した。接続端子モデル707に設定した熱容量は以下の式により計算した。

$$PQ_c = (PT_c / PT_s) \times (PQ_s \times (PC_s / PC_m) + AQ \times (AC / PC_m))$$

ただし PQ<sub>c</sub> : 接続端子モデルの熱容量

PT<sub>c</sub> : 接続端子の実際の厚さ

PT<sub>s</sub> : 接続端子モデルの厚さ (1mm)

PQ<sub>s</sub> : 接続端子の実際の熱容量

PC<sub>s</sub> : モデル内の実際の接続端子の容積

PC<sub>m</sub> : 接続端子モデルの容積

AQ : 空気の熱容量

AC : モデル内の空気の容積

【0143】なお、上述したSOP、QFPあるいはPGAのような部品モデル、ギャップモデル、リードモデル、および接続端子モデル以外のモデルであっても、同様の考え方で熱容量の定義が可能である。

【0144】以上、プリント配線板の厚さ方向に作成する計算格子数を削減し、計算格子の間隔を広げる方法について述べたが、プリント配線板の平面方向に作成する計算格子数もできるだけ削減する方向で検討したのはいうまでもない。今回の実施例では、平面方向の計算格子の最小間隔は1mmとした。

【0145】以上説明したように、本発明のプリント配線板の熱解析モデルのモデル化方法によれば、計算格子の間隔を大きくしたので、計算要素の数を大幅に削減することができ、従来の解析モデルを用いるよりも短時間で解析計算を行うことができる。また、本解析モデルには、実際の部品の形状(部品高さや部品本体厚み)や材質により、補正した物性値を定義して用いるため、モデル化による誤差はほとんどない。

【0146】本実施例では、電子部品を基板の片面のみに搭載した片面実装のプリント配線板の解析モデルについて述べたが、電子部品を基板の両面に搭載した両面実装のプリント配線板については、図16に示すようなプリント配線板の解析モデルを用いることで、本実施例と同様に、計算格子数を削減し、計算格子の間隔を広くと

ることが可能である。図16の解析モデルでは、プリント配線板の厚さ方向の分割数は5分割(表面部品2+基板1+裏面部品2)としている。

【0147】なお、リフロー炉の加熱条件の設定に際し、上記実施例1、実施例2および実施例3の方法および装置を任意に組み合わせて用いることができることはいうまでもない。

【0148】

【発明の効果】この発明の加熱炉の加熱条件設定装置によれば、加熱条件の変化量と被加熱物の各検出点における検出温度の変化量との関係を算定した後、被加熱物の各検出点を目標温度にするための加熱条件を設定するようにしたので、作業者の勘や推量により際限なく加熱条件の設定を繰り返すことなく、熟練した作業者でなくとも必要最小限の時間で対象となるプリント配線板のような被加熱物に最適な加熱条件を設定することができる。このため、例えば新規のプリント配線板の生産を開始する場合でも、短時間かつ最小限の工数で円滑に生産を開始することが可能となる。また、例えば基板や部品をそれぞれ選択的に加熱するような輻射特性の異なるヒータを用いたリフロー炉のように温度設定が難しい加熱炉であっても最適な加熱条件を設定することができる。

【0149】この発明の加熱炉内の被加熱物の熱解析装置によれば、被加熱物の形状と物性値を入力し、加熱炉内の加熱条件を入力することにより、自動的に、時間の経過に伴って変化する被加熱物の輻射境界条件と熱伝達境界条件とさらに被加熱物内における熱伝導に基づいて、各計算格子毎の温度分布が被加熱物の所定範囲の移動毎に算出されるようにしたので、加熱炉内の、例えばプリント配線板のような被加熱物の熱解析を容易に行うことができる。

【0150】また、プリント配線板に対して計算格子の間隔の大きな直方体モデルを設定し、その直方体モデルに対してそれぞれ物性値の補正を行って各直方体モデルに実際の物性値を適用させるようにした場合には、計算要素の数を大幅に削減して、従来の解析モデルを用いるよりも短時間で解析計算を行うことができ、しかもモデル化による誤差のない正確な解析を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】リフロー炉の構成を示す説明図である。

【図2】リフロー炉内で加熱されるプリント配線板の拡大図である。

【図3】リフロー炉のリフロー条件を設定するための制御装置の構成を示すブロック図である。

【図4】CPUの処理動作の内容を示すフローチャートである。

【図5】プリント配線板全体の平均的な温度プロファイルを示すグラフである。

【図6】本発明による加熱炉内の被加熱物の熱解析装置

の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明における搭載部品形状データ記憶部に記憶される搭載部品形状データの例を示す説明図である。

【図8】本発明におけるプリント板形状データ記憶部に記憶されるプリント板形状データの例を示す説明図である。

【図9】本発明の熱解析システムの処理内容を示すフローチャートである。

【図10】従来技術を用いてリフロー炉内のプリント配線板の熱解析を行った場合の処理を示すフローチャートである。

【図11】実際のプリント配線板とそのモデル化の状態を示す説明図である。

【図12】モデル化したプリント配線板を側面からみた状態を示す説明図である。

【図13】図12の解析モデルに差分解析を行うための計算格子を作成した場合の説明図である。

【図14】実際のリードの形状とリードモデルの形状とを比較した説明図である。

【図15】実際の接続端子の形状と接続端子モデルの形状とを比較した説明図である。

【図16】両面実装のプリント配線板の解析モデルを示す説明図である。

【図17】実際のプリント配線板を側面からみた状態を示す説明図である。

【図18】従来のプリント配線板の熱解析のための計算格子を示す説明図である。

#### 【符号の説明】

- 1 炉体
- 2 プリント配線板
- 2a はんだペースト
- 2b 電子部品
- 3 コンベア
- 4 加熱源1
- 5 加熱源2

\* 6 加熱源3

7 加熱源4

11 CPU

12 コンソール

13 温度センサ

14 ROM

15 RAM

101 入力装置

102 表示装置

10 103 形状データ処理部

104 リフロー条件設定処理部

105 解析結果表示処理部

106 物性値データ記憶部

107 搭載部品形状データ記憶部

108 プリント板形状データ記憶部

109 炉内輻射特性データ記憶部

110 炉内熱伝達特性データ記憶部

111 温度分布データ記憶部

112 算格子生成処理部

20 113 輻射境界条件設定処理部

114 熱伝達境界条件設定処理部

115 計算格子データ記憶部

116 熱伝達計算処理部

117 輻射計算処理部

118 熱伝導計算処理部

119 解析処理部

120 プリント板設計CADシステム

700 部品本体の解析モデル

701 基板の解析モデル

30 705 部品のリードの解析モデル

706 基板と部品との間のギャップの解析モデル

707 ピン状の接続端子の解析モデル

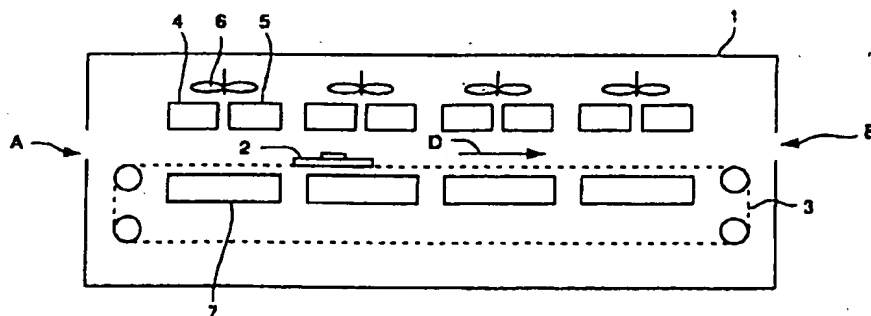
708 リードの周囲の空気

709 接続端子間の空気

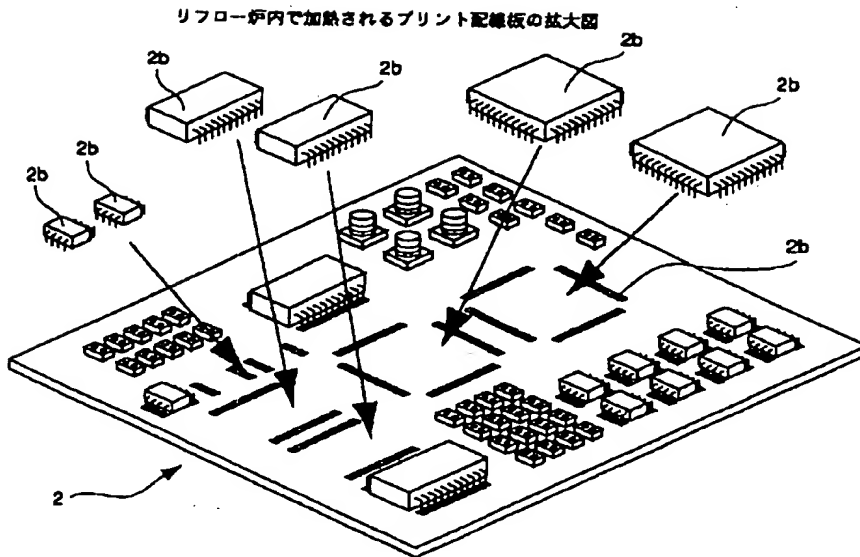
\*

【図1】

リフロー炉の構成を示す説明図

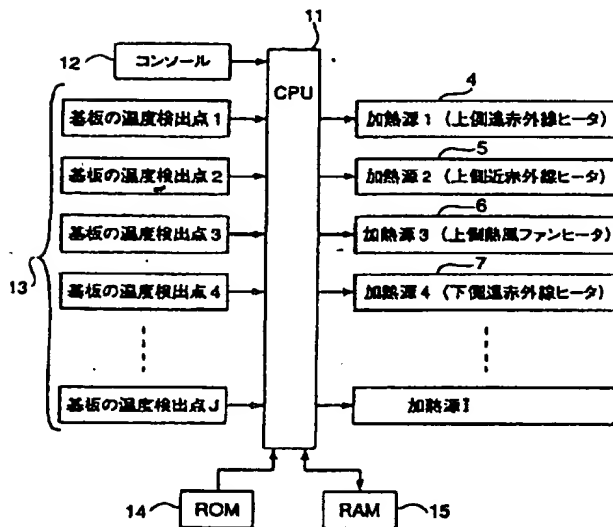


【図2】



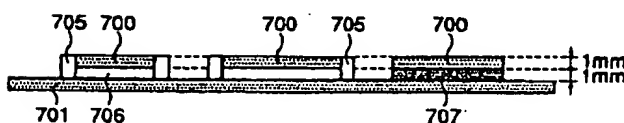
【図3】

リフロー炉のリフロー条件を設定するための制御装置の構成を示すブロック図



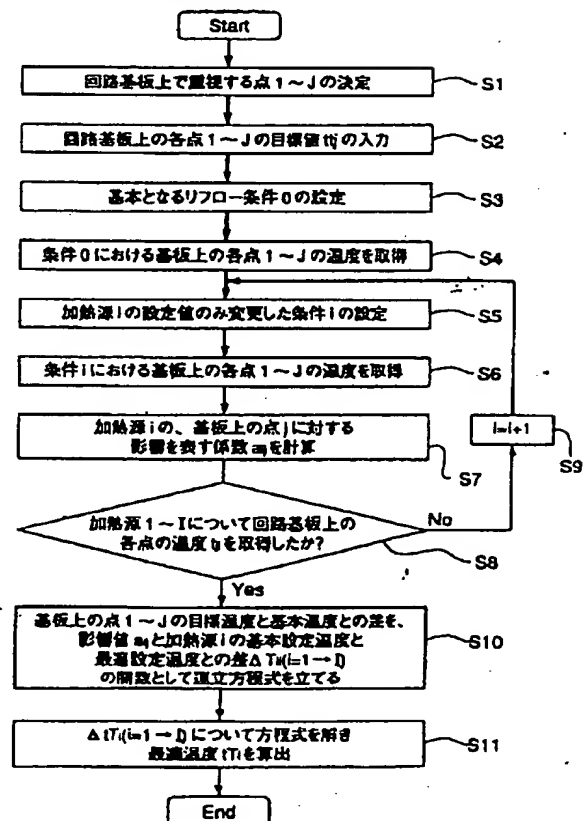
【図12】

モデル化したプリント配線板を側面から見た状態を示す説明図

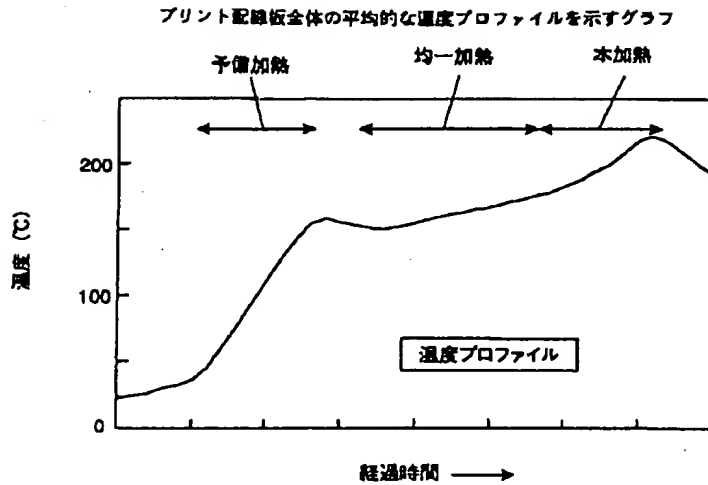


【図4】

CPUの処理動作の内容を示すフローチャート

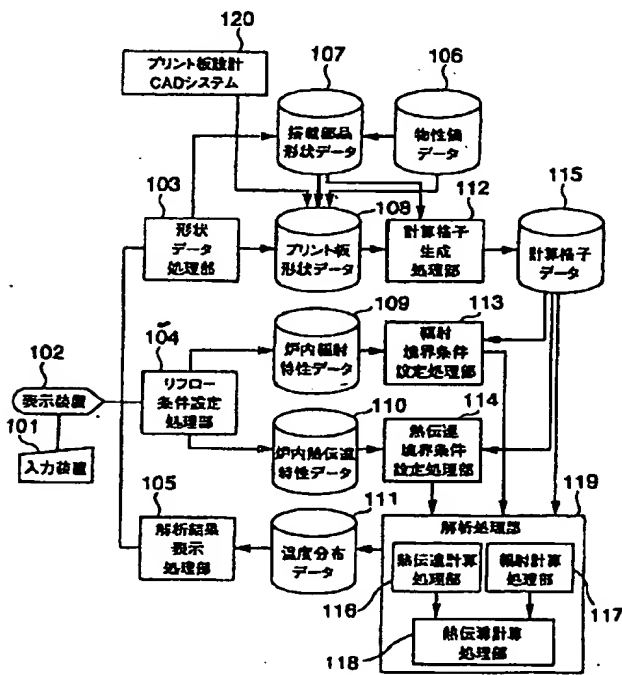


【図5】



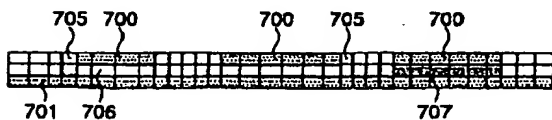
【図6】

本発明による加熱炉内の被加熱物の熱解析装置の構成を示すブロック図



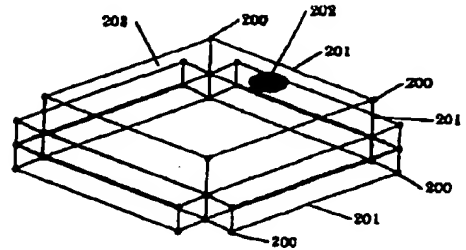
【図13】

図12の解析モデルに差分解析を行うための計算格子を作成した場合の説明図



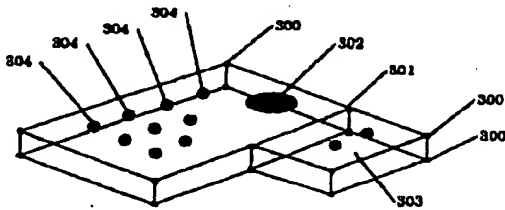
【図7】

本発明における搭載部品形状データ記憶部に記憶される搭載部品形状データの例を示す説明図



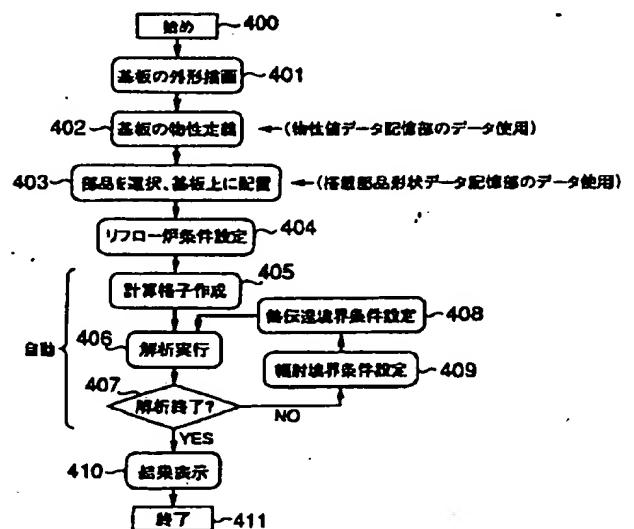
【図8】

本発明におけるプリント板形状データ記憶部に記憶されるプリント板形状データの例を示す説明図



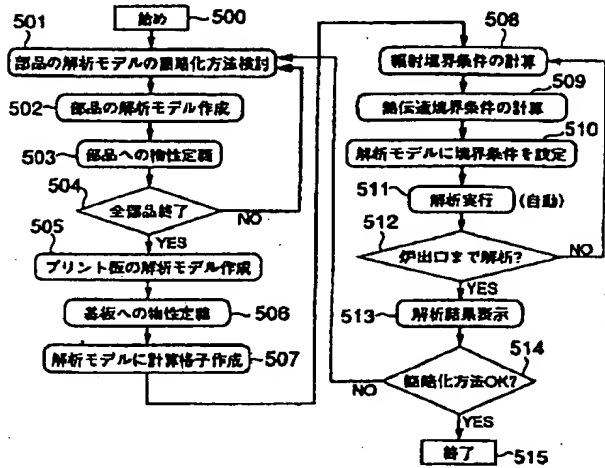
【図9】

本発明の熱解析システムの処理内容を示すフローチャート



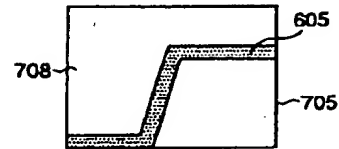
【図10】

従来技術を用いてリフロー炉内のプリント配線板の  
熱解析を行った場合の処理を示すフローチャート



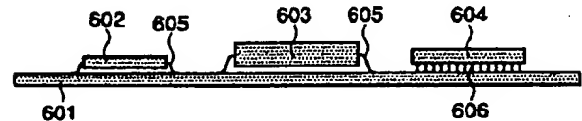
【図14】

実際のリードの形状とリードモデルの形状とを比較した説明図



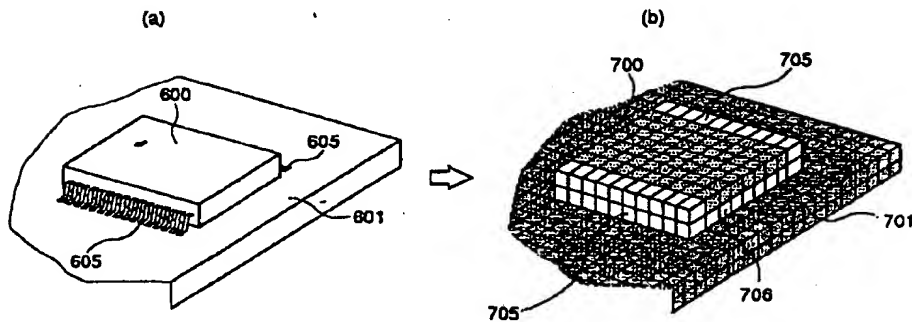
【図17】

実際のプリント配線板を側面から見た状態を示す説明図



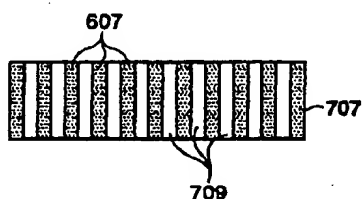
【図11】

実際のプリント配線板とそのモデル化の状態を示す説明図



【図15】

実際の接続端子の形状と接続端子モデルの形状とを比較した説明図



【図16】

両面実装のプリント配線板の解析モデルを示す説明図

